

#3/1089

JC872 U.S. PTO  
09/858350



대한민국 특허청  
KOREAN INTELLECTUAL  
PROPERTY OFFICE

별첨 시본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto  
is a true copy from the records of the Korean Intellectual  
Property Office.

출원번호 : 특허출원 2001년 제 19889 호  
Application Number

출원년월일 : 2001년 04월 13일  
Date of Application

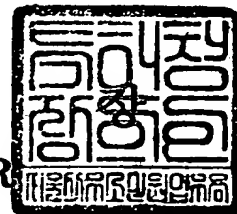
출원인 : 제원호  
Applicant(s)



2001 년 04 월 23 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0007
【제출일자】	2001.04.13
【국제특허분류】	G11B 7/00
【발명의 명칭】	고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침
【발명의 영문명칭】	HIGH FREQUENCY DITHERING PROBE FOR HIGH-SPEED SCANNING PROBE MICROSCOPY
【출원인】	
【성명】	제원호
【출원인코드】	4-1998-040315-8
【대리인】	
【성명】	박장원
【대리인코드】	9-1998-000202-3
【포괄위임등록번호】	2001-002207-2
【발명자】	
【성명】	제원호
【출원인코드】	4-1998-040315-8
【발명자】	
【성명의 국문표기】	서용호
【성명의 영문표기】	SEO, Yong Ho
【주민등록번호】	710116-1384517
【우편번호】	152-070
【주소】	서울특별시 구로구 신도림동 동아2차아파트 205동 1006호
【국적】	KR
【우선권주장】	
【출원국명】	KR
【출원종류】	특허
【출원번호】	10-2001-0002188
【출원일자】	2001.01.15
【증명서류】	미첨부

**【신규성주장】****【공개형태】**

간행물 발표

**【공개일자】**

2000. 12. 25

**【심사청구】**

청구

**【조기공개】**

신청

**【취지】**

특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 심사청구, 특허법 제64조의 규정에 의한 출원공개를 신청합니다. 대리인 박장원 (인)

**【수수료】****【기본출원료】**

20 면 29,000 원

**【가산출원료】**

5 면 5,000 원

**【우선권주장료】**

1 건 26,000 원

**【심사청구료】**

11 항 461,000 원

**【합계】**

521,000 원

**【감면사유】**

개인 (70%감면)

**【감면후 수수료】**

174,500 원

**【첨부서류】**

1. 요약서·명세서(도면)\_1통 2. 신규성(출원시의 특례)규정을 적용받기 위한 증명서류\_1통 3. 우선권증명서류 및 동 번역문\_1통[특허청 기재출]

**【요약서】****【요약】**

본 발명은 고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침에 관한 것으로, 고유진동수가 1MHz ~ 100MHz의 범위이고, 두께가 0.01mm ~ 2.0mm의 범위인 고주파 수정진동자와, 상기 수정진동자에 부착된 전극과, 상기 수정진동자에 부착된 탐침을 포함하여 구성되는 고주파 탐침 진동 소자를 제공한다. 본 발명에 의하면, 시료 표면을 이동하는 진동 탐침의 주사 속도가 크게 개선되어 실시간으로 관측 뿐만 아니라 움직이는 물체의 관측도 가능하게 된다.

**【대표도】**

도 2c

**【명세서】****【발명의 명칭】**

고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침{HIGH FREQUENCY DITHERING PROBE FOR HIGH-SPEED SCANNING PROBE MICROSCOPY}

**【도면의 간단한 설명】**

도 1은 종래의 원자현미경용 수정진동자인 튜닝포크를 나타낸다.

도 2a는 본 발명의 고주파 수정진동자의 일실시예를 보여주는 평면도이다.

도 2b는 도 2a의 고주파 수정진동자의 측면도이다.

도 2c는 본 발명의 고주파 수정진동자의 가운데 표면에 탐침이 부착된 실시예를 보여주는 측면도이다.

도 2d는 본 발명의 고주파 수정진동자의 또 다른 실시예로서 광섬유가 끼워진 고주파 수정진동자를 나타내는 측면도이다.

도 2e는 본 발명의 또 다른 실시예로서, 수정진동자의 끝부분에 탐침이 부착된 실시예를 보여주는 측면도이다.

도 2f는 본 발명의 또 다른 실시예로서, 수정진동자의 표면에 캔티레버가 부착된 실시예를 보여주는 측면도이다.

도 2g는 본 발명의 또 다른 실시예로서, 수정진동자의 끝단에 캔티레버가 부착된 실시예를 보여주는 측면도이다.

도 3a는 도 2c에 도시한 수정진동자를 이용한 근접장 주사 광학현미경의 구성을 보여주는 모식도이다.

도 3b는 도 2d에 도시한 수정진동자를 이용한 근접장 주사 광학현미경의 구성을 보여주는 모식도이다.

도 4는 본 발명의 고주파 수정진동자를 이용한 원자현미경의 구성을 개략적으로 나타낸 모식도이다.

도 5는 본 발명의 고주파 수정진동자의 진동탐침이 시료 표면에 접근함에 따른 진폭의 변화를 나타낸 그래프이다.

도 6a 및 6b는 본 발명에 의한 원자힘현미경으로 CD 표면을 관찰한 사진으로서, 도 6a는 높낮이(topography)를 보여주며, 도 6b는 에러 시그널의 변화를 보여준다.

도 7a 및 7b는 본 발명에 의한 근접장 주사 광학현미경으로 그레이팅 표면을 촬영한 사진으로서, 도 7a는  $7.4 \times 7.4 \text{ um}^2$ 의 면적을 0.4초 동안에 촬영한 것이고, 도 7b는  $1.8 \times 1.8 \text{ um}^2$ 의 면적을 2초 동안에 촬영한 것이다.

도 8은 도 2e에 도시된 수정진동자를 사용한 원자힘현미경으로 CD의 표면을 관찰한 사진이다.

\*\*\* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명 \*\*\*

20:고주파 수정진동자    21:전극

22:탐침            23:접착제

24:광섬유

**【발명의 상세한 설명】****【발명의 목적】****【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】**

- <20>        본 발명은 고속 주사탐침 현미경에 사용되는 진동 탐침에 관한 것으로 상세하게는 주사 속도를 크게 개선시킨 고주파 진동 탐침에 관한 것이다.
- <21>        주사탐침 현미경(scanning probe microscopy : SPM)은 끝이 뾰족한 탐침을 관측하고자 하는 표면 위에서 전후 좌우로 이동하면서 표면의 높낮이와 기타 물리적 성질을 측정하는 현미경을 의미한다. 주사탐침 현미경에는 STM(scanning tunneling microscope), 원자힘현미경(atomic force microscopy : AFM), 근접장 주사 광학 현미경(near field scanning optical microscope : NSOM), 자기력 현미경(magnetic force microscope: MFM) 등 여러 가지 방식이 있다. 일반적인 광학현미경은 빛의 회절 현상 때문에 그 분해능의 한계(200 ~ 300nm)를 가지는데, 이를 회절 한계라고 한다. 그러나 주사탐침 현미경은 광학 현미경이 가질 수 없는 고 분해능을 가질 수 있다. 접촉식 주사탐침 현미경은 탐침이 표면에 닿으면서 표면을 손상시킬 수도 있으므로 이를 보완한 것이 비접촉식 주사탐침 현미경이다. 비접촉식 주사탐침 현미경은 탐침을 매우 작은 진폭으로 (그 분해능 보다 작게) 진동하게(dithering) 만들고, 그 떨림의 크기를 관측함으로써 탐침이 시료에 부딪치는 것을 막는다. 진동하는 탐침은 떨림의 크기(진폭)가, 시료와 탐침이 멀리 떨어져 있을 때는 어느 정도 일정한 값을 가지다가 그 거리가 가까워지면서 진폭이 줄기 시작한다. 완전히 탐침이 시료와 닿기 전부터 진폭은 크게 줄기 때문에 탐침이 시료와 부딪지기 전에 거리를 적당히 조절함으로써 비접촉식 주사탐침 현미경을 구현하는 것이다.

- <22> 여기서 탐침이 시료와 수직인 방향으로 진동하도록 만들 수도 있고, 수평 방향으로 진동하도록 할 수도 있다. 전자의 경우를 태핑모드(tapping mode) 또는 점핑모드(jumping mode)라고 하고, 후자의 경우를 쉬어포스모드(shear force mode)라고 한다.
- <23> 탐침이 떨리도록하는 방식은 여러 가지가 있다. 예를 들면, 압전 물질 두 장을 붙여서 만드는 방식도 있고, 수정진동자의 일종인 튜닝포크(tuning fork)를 사용하는 경우도 있다. 최근에는 사용 방법이 간단하고 감도가 좋은 튜닝포크를 사용하는 것이 주종을 이루다.(K. Karrai et. al. Appl. Phys. Lett. 66, 1842 (1995).) 튜닝포크(10)는, 도 1에 도시된 바와 같이, 길고 나란한 두개의 가지를 가진 모양으로 이루어져 있는데 한 쪽 가지에 광섬유로 만든 탐침(13)을 붙이기가 용이하여 광범위하게 사용되고 있다. 튜닝포크의 한쪽 전극(11)에 고유진동수와 같은 주파수의 전압을 가하면 튜닝포크의 두 가지가 서로 반대방향으로 떨고, 그 떨림의 크기에 비례하는 전압이 다른 한 쪽의 전극(12)에 유도되어 나온다. 따라서 튜닝포크의 한 가지에 탐침을 붙이고 전압을 가하면 탐침도 따라서 움직이고, 탐침이 시료에 가까워지면 전단력(shear force)에 의해서 탐침의 진폭이 줄고, 튜닝포크의 가지의 진폭도 함께 줄면서 다른 전극에 유도되는 전압도 함께 준다. 즉 유도된 전압의 진폭은 탐침의 진동 진폭과 비례하는 것이므로 결과적으로 탐침의 진동(진폭)도 측정할 수 있는 것이다. 튜닝포크는 탐침을 진동시키는 것뿐만 아니라 탐침의 진폭의 변화까지도 알 수 있게 해주는 것이다.
- <24> 비접촉식 주사탐침 현미경은 튜닝포크를 사용하여 탐침을 시료와 수평인 방향으로 진동시키고 그 진동의 진폭 또는 위상의 변화를 측정함으로써 탐침과 시료의 거리를 측정하는 방식을 사용한다. 비접촉식 주사탐침 현미경은 시료에 손상을 주지 않으면서 시료를 관찰할 수 있는 장점을 지니고 있지만, 한 이미지를 얻는데 걸리는 시간이 너무 오



래 걸려서 (약 수 분 정도) 짧은 시간에 변하는 물체를 관찰하는 것이 불가능하다. 그 이유는 낮은 진동수를 갖는 튜닝포크로 인하여 주사(scanning) 속도가 느리기 때문이다. 튜닝포크는 일종의 수정진동자로서 그 고유진동수는 약 수 십 kHz에 머무르고, 따라서 튜닝포크에 부착된 탐침의 진동 주파수도 수 십 kHz에 불과하여 그 반응 속도가 느리므로 결과적으로 주사 속도를 떨어뜨리고, 최종적으로 영상을 얻는데 걸리는 시간을 느리게 한다.

**【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】**

<25> 본 발명은 주사탐침 현미경에 사용되는 진동자에 있어서, 진동탐침의 주사 속도를 개선하여 빠른 시간 내에 시료를 관측하고, 특히 변화하는 물체의 관측도 가능케 하는데 그 목적이 있다.

<26> 또한, 본 발명은 일반적인 비접촉식 주사탐침 현미경이나 근접장 주사 광학현미경에 사용될 수 있는 고주파 탐침 진동 소자를 제공하는데 목적이 있다.

**【발명의 구성 및 작용】**

<27> 본 발명은 고유진동수가 1MHz ~ 100MHz의 범위이고, 두께가 0.01mm ~ 2.0mm의 범위인 고주파 수정진동자와, 상기 수정진동자에 부착된 전극과, 상기 수정진동자에 부착된 탐침을 포함하여 구성되는 고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침을 제공한다.

<28> 본 발명의 수정진동자는 다양한 형태를 가질 수 있으며, 높은 주파수를 갖기 위하여 두께가 0.01mm ~ 2.0mm의 범위이며 단면적은 수십 mm<sup>2</sup> 인 납작한 원반형(또는 디스크형)이 바람직하다. 원반형 수정진동자는 제조가 용이할 뿐만 아니라 수정진동자에 캔틸레버(cantilever)나 바늘 형태의 탐침을 부착하기가 매우 용이하다.

- <29> 본 발명의 고주파 진동 탐침은 주사탐침 현미경 중에서 특히 근접장 주사 광학현미경이나 비접촉식 원자힘현미경에 사용될 수 있다. 고주파 수정진동자는 그 진동수가 수 MHz에서 수 백 MHz에 달하므로 종래의 튜닝포크에 비하여 반응 속도가 100배 이상 빨라지고, 따라서 이미지를 얻는데 걸리는 시간을 1/100로 줄일 수 있다.
- <30> 진동하는 수정진동자에 부착된 탐침이 시료에 가까워지거나 멀어질 때 탐침의 진폭이 시료와의 거리에 따라 즉각적으로 반응하여 줄거나 늘어난다면, 즉 수정진동자의 반응속도가 빠르다면 시료와 탐침의 거리 조절이 되는데 소요되는 시간이 단축되고 따라서 주사 속도도 빨라진다. 결국, 수정진동자의 반응속도(response time)가 주사 속도를 결정하게 된다.
- <31> 진동자의 반응 속도는 이론적으로  $\tau = \sqrt{3}Q/\omega_0$ 으로 주어지는데 여기서 Q는 진동자의 quality factor 이고  $f_0$ 는 진동자의 고유 진동주파수이다. 따라서 Q를 낮추거나  $f_0$ 를 높이면 반응 속도를 높일 수 있다. 따라서, 탐침을 훨씬 더 높은 주파수로 진동시키는 진동자에 부착하여 사용하면 탐침의 진동 주파수도 높아지고 반응 속도가 빨라진다.
- <32> 주사탐침 현미경에 있어서는 진동 탐침(dithering probe)의 반응 속도를 높이는 것과 더불어 되먹임(feedback)을 해주는 전기회로의 반응 속도가 함께 향상되어야 하고, 아울러 PZT 위치제어장치의 반응 속도도 높아야 한다.
- <33> 되먹임 회로의 반응 속도는 로크인 증폭기(lock-in amplifier)의 시간 상수에 의해 정해지는 경우가 많은데, 그 이유는 로크인 검출기의 출력결과의 잡음을 낮추기 위해서 긴 시간 상수를 사용하기 때문이다.
- <34> 튜닝포크의 떨림 진폭은 전압의 진폭에 비례하는데, 떨림 진폭을 작게 해야만 높은

해상도의 상을 얻을 수 있기 때문에 일반적으로 전압의 진폭을 약 수 mV 정도로 낮춰서 사용한다. 이렇게 작은 신호는 주위의 전기적 잡음에 쉽게 묻혀 버리기 때문에 로크인 감지를 이용하여 해당 주파수의 성분을 뽑아내고, 이것의 진폭에 비례하는 DC출력을 얻어서 되먹임을 한다. 이 과정에서 DC출력의 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)를 높이기 위하여 긴 시간 상수를 주고 평균화된 신호를 이용한다. 이러한 복잡한 과정들은 모두 튜닝포크의 큰 진동 진폭에 기인한 것이다. 만약 떨림 진폭을 키우면 신호 대 잡음비가 줄어서 짧은 시간 상수로 빠른 되먹임을 할 수는 있으나 해상도가 낮아지게 되고, 높은 해상도를 얻기 위해 떨림 진폭을 줄였을 때는 시간 상수가 길어져서 주사 시간이 길어지는 것이다.

<35> 이 문제를 해결할 수 있는 방법은 역학적인 진동은 작으면서 전기적인 전압의 진폭은 큰 진동 소자를 개발하거나 찾아내는 것이다. 만약 이러한 소자를 찾아낸다면 전기적 신호가 크기 때문에 상대적으로 잡음이 작아서, 로크인 증폭기를 사용하지 않아도 될 것이다. 그렇다면 전체 시스템의 구조도 매우 간단해서, 생산비용도 크게 줄일 수 있다.

<36> 본 발명에서는 앞서 상술한 조건을 만족하는 진동 소자로 고주파 수정진동자를 사용한다. 고주파 수정진동자는 고유진동수  $f_0$ 가 매우 클 뿐만 아니라 역학적인 진동은 작으면서 전기적인 전압의 진폭이 커서 종래 기술에서의 문제점을 한번에 해결할 수 있다.

<37> 고주파 수정진동자를 원자현미경에 응용하기 위해서는 탐침을 수정진동자에 연결하여 진동할 수 있도록 하는 것이 매우 중요하다. 고주파 수정진동자는 주위의 환경에 매우 민감한데, 예를 들면 온도, 습도, 기압에 따라서 그 진동수와 진폭이 크게 변한다.

또한 고주파 수정진동자에 어떤 물체를 붙이거나 옆에 대기만 해도 발진이 멎는다. 따라서 수정진동자가 진동할 때 탐침이 함께 진동할 뿐만 아니라, 탐침이 시료에 가까이 갈 때 탐침에 미치는 힘(예를 들면, 전단력)이 수정진동자에도 전달될 수 있어야 한다. 이와 같은 조건을 만족시키기 위하여 본 발명에서는 탐침의 질량을 낮추고, 고주파 수정진동자에 탐침을 단단히 붙여 이 두 물체가 서로 한 몸이 되어 움직이도록 하였다. 탐침은 질량을 낮추고 수정진동자와의 접촉을 고려하여 길이가 2mm 이하가 되도록 하는 것이 바람직하다.

<38> 이하에서는 도면을 참조하며 실시예를 통하여 본 발명을 보다 구체적으로 설명한다

<39> 도 2a는 본 발명의 고주파 수정진동자를 도시한 평면도로서, 수정 결정체를 AT-cut 방향으로 자른 판형으로 되어 있다. 고주파 수정 진동자(20)의 앞, 뒷 면에는 전극(21)이 부착되어 있다. 본 실시예에서는 수정 결정의 양 표면(뒷 면은 미도시)에 열쇠구멍 모양의 전극이 입혀져 있는데, 이 전극으로부터 역학적 진동에 의해 유도되는 전압을 측정할 수도 있고, 전극에 전압을 가해서 수정 결정에 역학적 진동을 유도할 수도 있다. AT-cut 수정 진동자는 상온에서 온도에 따른 주파수의 변화가 크지 않아서 주로 상온에서 사용하는 원자힘현미경에 적합하다. 이 수정진동자의 두께에 따라 고유 진동수가 결정되는데, 본 실시예에서는 고주파 수정진동자의 고유 진동수가 2 MHz로서 두께는 약 0.85 mm에 해당한다.

<40> 도 2b는 도 2a의 고주파 수정진동자의 측단면을 나타낸 것으로, 진동하는 방향을 보여준다. 수정진동자에 역학적인 충격이 가해지면, 도 2b에 도시된 바와 같이, 상 하면이 서로 반대로 수평 방향으로 고유진동수에 따라 진동하게 된다. 본 실시예에서 수정진

동자의 진동시 진동의 진폭은 가운데 부분이 가장 크다. 그러므로 탐침을 수정진동자의 가운데에 위치시켜야 가장 큰 감도(sensitivity)를 얻을 수 있다.

<41> 도 2c는 탐침이 부착된 수정진동자를 보여준다. 감도를 크게 하기 위하여 수정진동자(20)의 중앙에 탐침(22)을 세워서 붙인 것을 볼 수 있다. 이때 수정과 탐침의 접착력이 매우 중요한 변수가 되는데, 본 발명에서는 순간 접착제를 사용하여 수정진동자와 탐침의 접착을 견고히 하였다. 참조번호 23은 접착부위를 나타낸다.

<42> 광섬유를 레이저로 가열한 후, 광섬유의 양 끝을 잡아당기면 가운데 부분이 바늘처럼 매우 가늘어지게 된다. 탐침으로 사용한본 실시예에서는 이와 같은 바늘 모양의 광섬유를 탐침으로 사용하였는데, 이러한 바늘 모양의 탐침은 주로 근접장 주사 광학현미경(Near field scanning optical microscope)의 탐침으로도 사용된다. 따라서 본 발명의 수정진동자는 근접장 주사 광학현미경에도 활용될 수 있다.

<43> 도 2d는 본 발명의 또 다른 실시예로서, 수정진동자(20)의 중앙에 작은 구멍을 내고 바늘 모양의 광섬유(24)를 상기 구멍에 끼워 수정진동자와 광섬유가 일체가 되도록 하였다. 이러한 광섬유 일체형 수정진동자는 긴 광섬유의 끝을 뽕족하게 하여 탐침을 형성시킨 후, 탐침을 자르지 않은 채 그대로 수정진동자의 구멍에 끼움으로써 제조된다. 이때 구멍의 크기가 지나치게 크면 수정진동자가 고유 진동 모드를 잃어버리거나 Q 값이 크게 줄어들 수 있다. 따라서 구멍의 크기는 광섬유의 재킷(jacket)을 벗긴 클래딩(cladding)의 직경보다 약간 큰 정도면 된다. 본 실시예에서 사용된 광섬유의 클래딩의 직경은 125 $\mu$ m이고, 수정진동자의 구멍의 직경은 150 $\mu$ m이었다. 구멍과 광섬유 사이에 약간의 틈이 있는데, 이 틈에 접착제를 약간 주입하면, 그 틈이 매워지면서 수정진동자의 진동에 따라 탐침도 함께 진동하는 것이 가능하게 된다.

- <44> 도 2e는 본 발명의 또 다른 실시예로서, 수정진동자(20)의 끝부분에 탐침(22)을 부착하였다. 이 경우에는 수정진동자에 탐침을 붙이기가 간편하고, 높은 Q 값을 가질 수 있다는 장점이 있다. 또한 수정진동자의 진동 방향이 탐침의 길이 방향과 나란히 할 수도 있고, 직각이 되도록 할 수도 있다. 특히 진동방향이 탐침과 나란할 경우는 탭핑 모드(tapping mode) 원자힘 현미경이 된다.
- <45> 도 2f는 본 발명의 또 다른 실시예로서, 수정진동자(20)의 한쪽 면 위에 켄티레버가 부착되어 있다. 켄티레버는 접착제를 이용하여 수정진동자에 붙이거나, 수정진동자의 한쪽 면 상에 Si 웨이퍼를 부착한 후 상기 웨이퍼를 켄티레버 형태로 식각하여 제조할 수도 있다. 이때, 켄티레버의 길이, 무게, 그리고 탄성계수 등을 변화시킴으로서 진동 특성을 다르게 할 수도 있다. 예를 들어, 수정진동자의 진동주파수와 켄티레버의 진동주파수를 같게 하거나, 정수배가 되도록 하며, 높은 Q값을 가진 진동 소자로 만들 수도 있다. 또한 수정진동자의 진동주파수와 켄티레버의 진동주파수가 크게 다르면 각각의 진동 현상을 동시에 측정하여, 두 가지 다른 정보를 얻어 낼 수도 있다.
- <46> 도 2g는 본 발명의 또 다른 실시예로서, 수정진동자(20)의 끝단에 켄티레버가 부착되어 있다. 켄티레버는 별도로 제조하여 접착제로 수정진동자에 부착하거나, 또는 도 2f의 실시예에서 설명한 바와 같이, 수정진동자상에서 바로 제작하는 것도 가능하다. 이때 수정진동자의 끝을 약간 잘라내고 잘린 부위에 서 켄티레버를 부착시키면 켄티레버와 수정진동자의 접착이 더욱 견고해지므로 더 높은 감도의 원자힘현미경을 만들 수 있다.
- <47> 도 3a 및 3b는 본 발명의 고주파 수정진동자를 근접장 주사 광학현미경에 적용한 실시예를 보여준다.

<48> 도 3a는 도 2c에 도시한 수정진동자를 이용한 근접장 주사 광학현미경을 보여준다. 고주파 수정진동자(20)에 접착제(23)를 사용하여 투명한 탐침(22)을 세워서 붙이고, 광원(30)으로부터 발생된 빛이 대물렌즈(32)를 통하여 탐침의 끝에 초점이 맺히도록 한다. 탐침으로부터 반사되는 빛은 빔스플리터(beam splitter)(31)에서 광감지부(34)로 전달된다. 수정진동자는 투명한 물질이므로 빛이 잘 투과되지만, 수정진동자의 앞 뒷면에 입혀진 불투명한 전극(미도시)은 빛이 투과되지 못하므로 약간의 개조가 필요하다. 예를 들어, 전극의 일부분을 벗겨내도 전극으로서의 역할에는 문제가 없으므로 전극의 중앙의 일부를 벗겨내고 그 부분을 연마(polishing)하면 충분히 빛을 투과시킬 수 있다. 또 다른 방법으로 투명 전극 (예를 들면, Indium Tin Oxide)을 사용하여 빛이 투과되도록 할 수도 있다.

<49> 도 3b는 도 2d에 도시한 수정진동자를 이용한 근접장 주사 광학현미경을 보여준다. 이 실시예에서는 수정진동자(20)에 입혀진 전극(미도시)의 중앙의 일부분을 제거할 뿐만 아니라, 수정진동자의 중앙에 구멍을 뚫어서 광섬유(24)를 그 안에 끼워 넣고 광섬유를 통해서 빛을 입사시키고 받아들이는 것이다. 광원(30)으로부터 광섬유에 직접 빛이 입사되므로 대물렌즈는 필요없으며, 반사되는 빛은 커플러(33)를 통해 광감지부(34)로 전달된다.

<50> 도 4는 본 발명의 고주파 수정진동자를 이용한 원자힘현미경의 구성을 개략적으로 나타낸 모식도이다. 도시된 바와 같이 위치조절스테이지(44)에 연결된 수정진동자(20)의 한쪽 전극(21a)에 주파수합성기(40)로부터 수정진동자의 고유진동수에 해당하는 AC 전압( $v_0$ )을 가하면, 수정진동자가 진동하고 따라서 수정진동자에 부착된 탐침(22)도 진동한다. 탐침이 시료(45) 표면을 이동하면서 진동이 변화하게 됨에 따라 그 변화량에 의한

유도 전압( $v$ )이 다른 한쪽의 전극(21b)에 발생된다. 이 전압( $v$ )은 다이오드(41)를 거쳐 전압의 진폭에 비례하는 DC 신호( $a$ )를 얻고, 그 진폭과 기준전압발생부(42)의 기준전압( $a_0$ )의 차에 비례하여 적분기(43)에서 적분된 전압을 (이를 PI 조절방식이라고 한다.) 고압으로 증폭( $V_{pzt}$ )시켜서 PZT위치제어기(46)에 인가하면 되먹임 루프가 완성된다. 본 발명의 고주파 수정진동자를 이용한 원자힘현미경은 로크인 증폭기가 필요 없으며 장치가 매우 간단하여 제조 비용이 매우 저렴하다는 장점이 있다.

<51> 도 5는 본 발명의 고주파 수정진동자에 부착된 탐침을 시료에 가까이 가져갈 때 탐침의 진동에 따른 유도전압의 진폭이 감소하는 것을 보여주고 있다. 멀리 떨어져 있을 때는 일정한 진폭이 유지되지만, 40 nm 이내로 가까워지면 진폭이 갑작스럽게 감소한다. 약 30 nm의 범위에서 크게 전압이 감소하므로 민감한 거리 조절 센서로서의 요건을 충분히 만족시킴을 알 수 있다. 따라서, 유도 전압의 진폭으로부터 시료와 탐침의 거리를 측정정한 후, 도 4에 도시된 되먹임 회로를 이용하여 탐침과 시료의 거리를 일정하게 조절할 수 있다.

<52> 도 6a 및 6b는 탐침을 중앙에 부착한 수정 진동자(도 2c)를 사용한 비접촉식 원자힘현미경을 이용하여 시료 표면을 관찰한 결과를 보여 주고 있다. 도 6a는 높낮이를 나타내고 있으며, 도 6b는 error signal을 보여주고 있다. 시료로 CD(Compact Disk)를 사용하였고 주사한 면적은  $55\mu\text{m}^2$ , 전체 이동한 거리는 0.5 mm이었다. 이 이미지를 얻는데 소요된 시간은 0.4초에 불과하였다. 이 경우 주사 속도는 1.2mm/s에 달한다. 즉, 종래의 튜닝포크를 사용한 경우보다 10배 내지 100배에 달하는 속도의 향상을 보였다. 도 6a의 작은 부분 그림에서는 이미지의 흰색으로



나타난 선의 단면을 그래프로 보여주고 있는데 각 검은 색 점이 측정된 지점으로, 100 nm의 간격으로 기존의 비접촉식 원자힘현미경의 분해능에 비해 차지지 않음을 보여 주고 있다.

<53> 도 7a 및 7b는 구멍을 뚫고 광섬유를 관통시켜서 제작된 수정진동자(도 2d)를 사용한 근접장 주사 광학현미경으로 그레이팅(grating)의 표면을 촬영한 것이다. 도 7a는 그레이팅의  $7.4 \times 7.4 \mu\text{m}^2$ 의 면적을 0.4초 동안에 촬영한 것이고, 도 7b는 배율을 높여서,  $1.8 \times 1.8 \mu\text{m}^2$ 의 면적을 2초 동안에 촬영한 것으로 높은 해상도를 보여주고 있다.

<54> 도 8은 광섬유로 만든 탐침을 끝부분에 부착한 수정진동자(도 2e)를 사용한 원자힘현미경으로 CD의 표면을 촬영한 예이다.  $8 \times 8 \mu\text{m}^2$ 의 면적을 30초 동안에 촬영하였다. 도 6a의 결과와 비교해 볼 때, 주사시간은 길어졌지만 해상도가 매우 향상되었음을 알 수 있다.

<55> 도 6a 및 도 8의 결과는 본 발명의 수정진동자에 있어서 탐침이 수정진동자의 어느 부분에 부착되더라도 원자힘현미경으로의 활용이 가능하다는 것을 보여준다. 또한, 본 발명의 수정진동자는 탐침의 부착 위치에 따라 쉬어포스 모드나 탭핑 모드등 다양한 모드로 작동이 가능하다.

#### 【발명의 효과】

<56> 일반적인 광학현미경은 시료의 실시간의 변화를 눈으로 직접 볼 수는 있으나, 그 분해능이 좋지 못하고, 근접장 주사 광학현미경은 분해능이 뛰어나지만 속

도가 느려서 실시간으로 변화하는 시료를 관찰하는 것은 불가능했다. 그러나 본 발명에 의하면, 실시간으로 변화하는 시료를 고 분해능으로 관찰할 수 있게 됨으로써 물리, 화학, 생물과 같은 순수 과학뿐만 아니라 반도체, 정보통신 등의 응용과학 분야에 큰 영향을 미치게 될 것이다.

<57> 특히, 의학, 생명과학등의 분야에 있어서 수십에서 수백 nm의 크기를 가지는 바이러스는 현재까지 직접적으로 연구할 수 있는 도구가 거의 없었다. 바이러스는 광학현미경으로 관찰하기엔 매우 작은 크기이며, 기존의 느린 주사 속도를 갖는 AFM이나 근접장 광학 현미경으로 움직이는 바이러스를 촬영할 수 없었기 때문이다. 그러나 본 발명에 의하여 세균의 성장, DNA의 변화, 세포의 분열 등 광범위한 활용이 기대된다.

<58> 최근 나노 물질의 개발과 조작은 큰 각광을 받고 있으나, 나노 크기의 물질의 변화를 실시간으로 촬영할 수 있는 현미경이 개발되어 있지 않아서, 연구 개발에 큰 장애가 되고 있다. 본 발명은 나노 입자들의 동역학적인 변화, 나노 물질(예를 들면, 박막 제작, 나노튜브 성장, 나노리소그라피, 등)의 제작 과정을 바로 촬영할 수 있는 도구가 될 것이다.

**【특허청구범위】****【청구항 1】**

고유진동수가 1MHz ~ 100MHz의 범위이고, 0.01mm ~ 2.0mm의 범위의 두께를 갖는 고주파 수정진동자와,

상기 수정진동자에 부착된 전극과,

상기 수정진동자에 부착된 탐침을 포함하여 구성되는 고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침.

**【청구항 2】**

제1항에 있어서, 상기 수정진동자는 단면적이 수십  $\text{mm}^2$  인 납작한 원반형인 것을 특징으로 하는 고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침.

**【청구항 3】**

제1항에 있어서, 상기 탐침은 수정진동자의 표면에 부착된 것을 특징으로 하는 고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침.

**【청구항 4】**

제3항에 있어서, 상기 탐침은 상용의 캔티레버인 것을 특징으로 하는 고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침.

**【청구항 5】**

제1항에 있어서, 상기 탐침은 고주파 수정 진동자에 형성된 구멍에 끼워진 채로 부착되는 것을 특징으로 하는 고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침.

**【청구항 6】**

제3항 또는 제5항에 있어서, 상기 탐침은 광섬유인 것을 특징으로 하는 고속 주사 탐침 현미경용 고주파 진동 탐침.

**【청구항 7】**

제3항 또는 제5항에 있어서, 상기 주사탐침 현미경은 비접촉식 원자힘현미경(AFM)인 것을 특징으로 하는 고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침.

**【청구항 8】**

제3항 또는 제5항에 있어서, 상기 탐침은 빛이 통과될 수 있는 투명 재질인 것을 특징으로 하는 고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침.

**【청구항 9】**

제8항에 있어서, 상기 전극은 수정진동자에 탐침이 부착되는 부위가 제거된 것을 특징으로 하는 고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침.

**【청구항 10】**

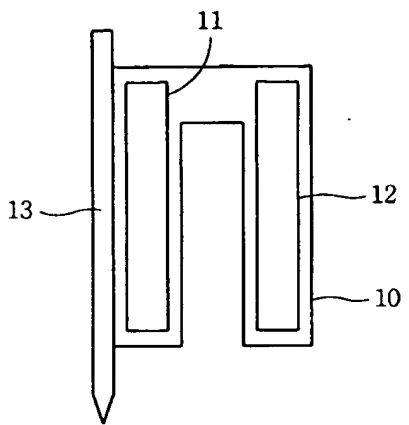
제8항에 있어서, 상기 전극은 투명전극인 것을 특징으로 하는 고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침.

**【청구항 11】**

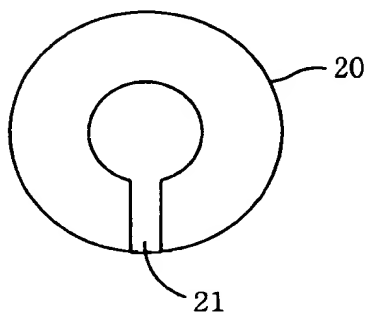
제8항에 있어서, 상기 주사탐침 현미경은 근접장 주사 광학현미경(NSOM)인 것을 특징으로 하는 고속 주사탐침 현미경용 고주파 진동 탐침.

【도면】

【도 1】



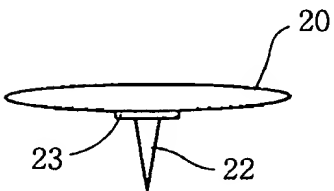
【도 2a】



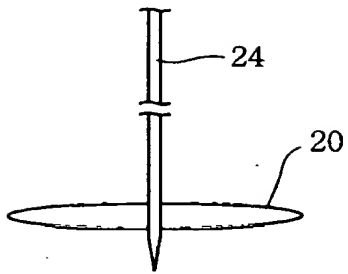
【도 2b】



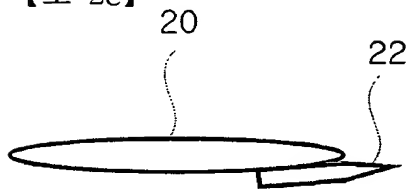
【도 2c】



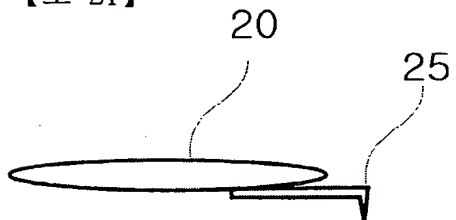
【도 2d】



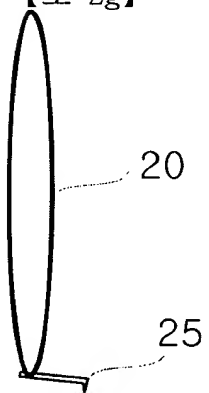
【도 2e】



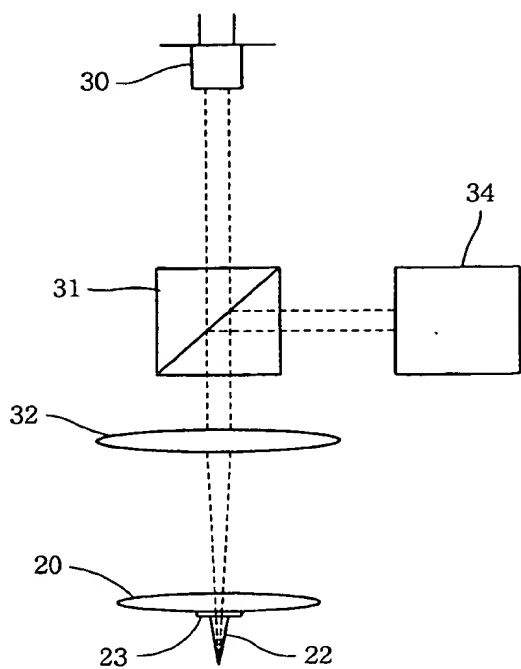
【도 2f】



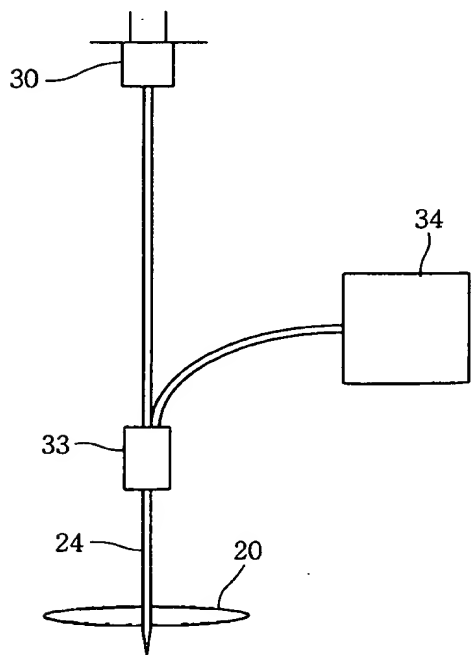
【도 2g】



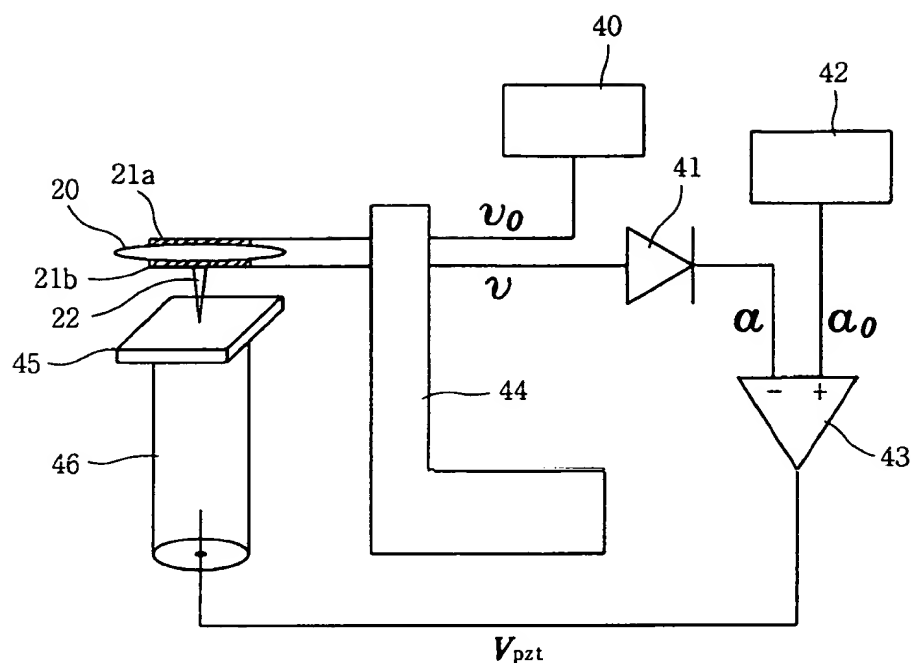
【도 3a】



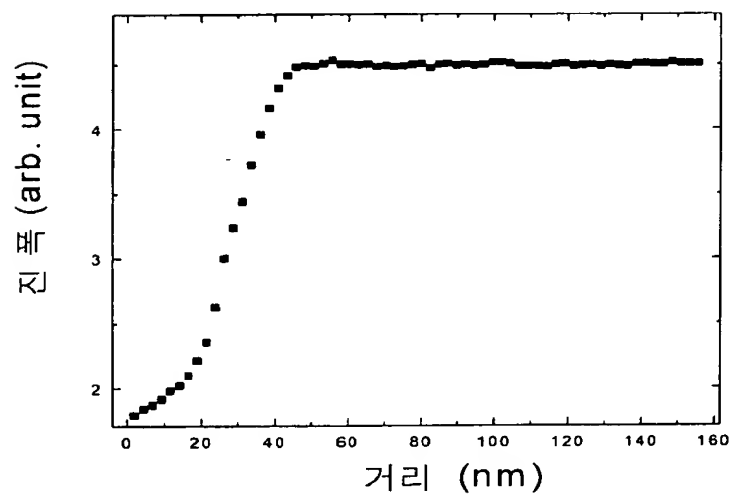
【도 3b】



【도 4】

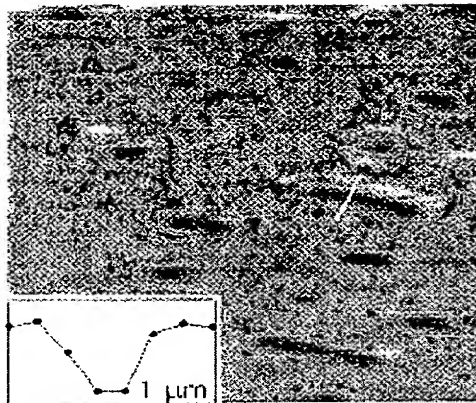


【도 5】

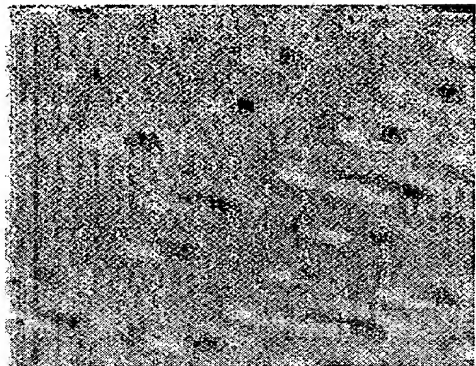




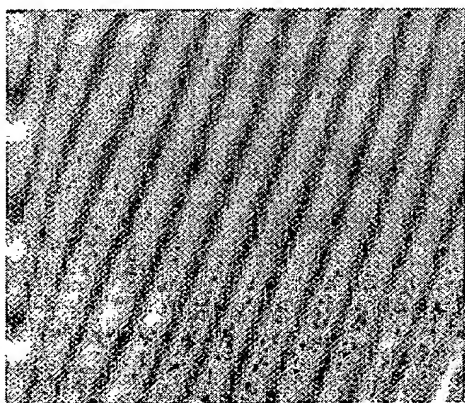
【도 6a】



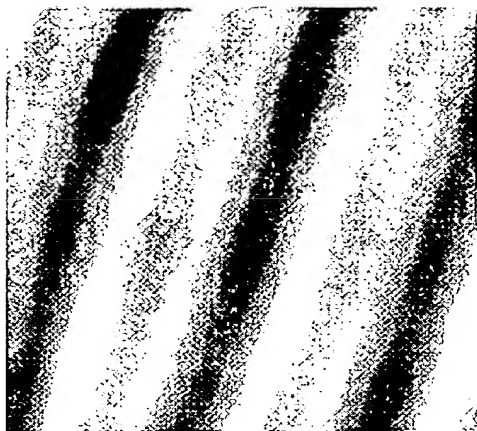
【도 6b】



【도 7a】



【도 7b】



【도 8】

